

2. Antonova E. P. Oxygen isotope exchange, water uptake and electrical conductivity of Ca-doped lanthanum zirconate // Solid State Ionics. 2017. № 306. С. 112–117.

УДК 621.311.24

## **РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА СОВМЕСТНОГО АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО И МЕХАНИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ЧАСТОТЫ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ**

### **AN ALGORITHM DEVELOPMENT OF A JOINT AERODYNAMIC AND MECHANICAL SPEED CONTROL OF THE WIND TURBINE**

Шигин А. А., Шигина А. В., Васьков А. Г.

Московский энергетический институт, г. Москва, shiginy@yandex.ru

Shigin A. A., Shigina A. V., Vaskov A. G.

Moscow Power Engineering Institute, Moscow

**Аннотация:** В работе рассмотрены неэлектрические способы обеспечения качества электроэнергии, генерируемой ветроэнергетической установкой. Разработан алгоритм активного аэродинамического регулирования на основании итераций, ведущихся по быстроходности, а также методика определения передаточного отношения одноступенчатого мультипликатора, применяемого совместно с управлением положением лопастей, основанная на расчете линий постоянной частоты. Даны рекомендации по её обобщению для расчета коробки передач и варистора. Применение разработанных алгоритмов возможно в исследовательских целях при моделировании в Simulink режимов работы ветроэнергетической установки с аэродинамическим или совместным аэро-механическим регулированием частоты и активной мощности.

**Abstract:** The article discusses non-electrical ways of ensuring the quality of electricity generated by wind power system. The algorithm of active aerodynamic control, which was established, based on the iteration in progress in rapidity. A method of determining gear ratio single-stage multiplier, which is used in conjunction with the position control of the blades, based on the calculation of lines of constant frequency. There are suggested some recommendations for the generalization to calculate the transmission and the varistor. Application of the developed algorithms is possible for research purposes in the modeling in Simulink of operation modes of the wind turbine with aerodynamic or joint aero-mechanical regulation of frequency and active power.

**Ключевые слова:** ветроэнергетические установки, качество электроэнергии, алгоритм регулирования частоты, угол установки лопастей, мультипликатор

**Key words:** wind turbines, power quality, algorithm of frequency control, the angle of the blades, the multiplier

*Введение.* Необходимость управления электрическими параметрами ветроэнергетической установки (ВЭУ) обусловлена требованиями к качеству электроэнергии (ЭЭ) [1]. Предусмотренные стандартом [2] способы регулирования частоты и активной мощности ВЭУ можно классифицировать по природе воздействия на аэродинамические и механические.

*Целью работы* является разработка алгоритма активного аэродинамического управления ветроколесом (ВК) и методики расчета передаточного отношения мультипликатора для случая одновременного осуществления аэродинамического и механического регулирования с целью обеспечения качества генерируемой ЭЭ. Предполагается применять результаты работы совместно с математической моделью ВЭУ, реализованной в Simulink.

*Аэродинамическое регулирование.* В случае наличия в составе ВЭУ системы активного аэродинамического регулирования при изменении

скорости ветра производят корректировку угла установки лопастей с целью обеспечения качества ЭЭ по частоте [3].

На подготовительном этапе разработанного алгоритма с некоторым шагом задаются ряды быстроходности и скорости ветра, и рассчитывается таблица распределения частот вращения ВК для возможных сочетаний  $Z$  и  $V$ . На её основании определяются диапазоны значений параметров, для которых частота равна заданному значению с учетом допустимого отклонения. Дальнейшая последовательность расчетов предлагаемого метода определения оптимального угла установки лопастей приведена в виде схемы на рис. 1.

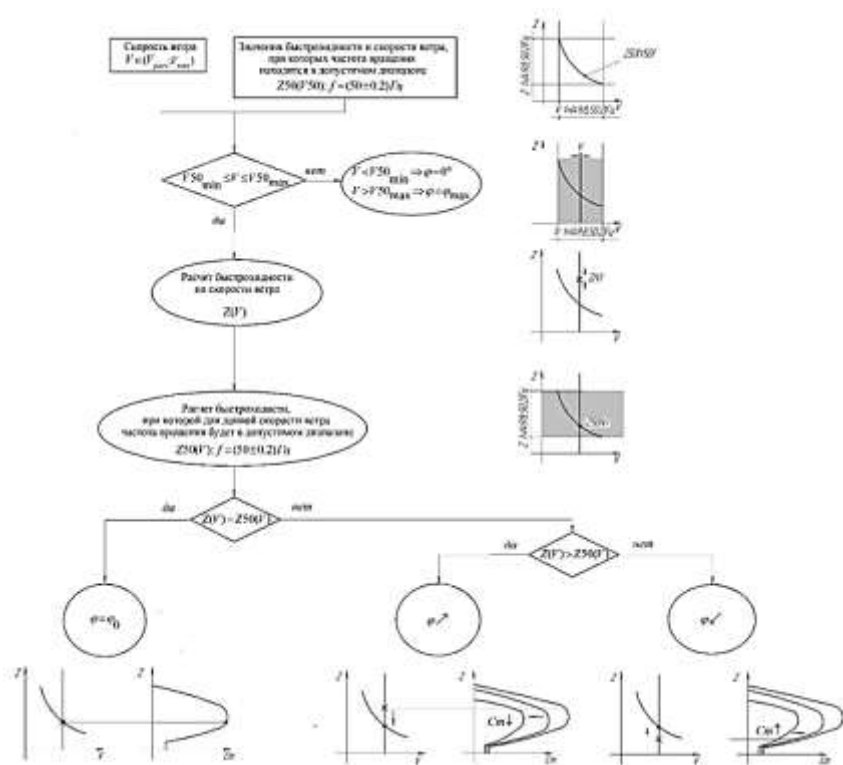


Рис. 1. Алгоритм расчета угла установки лопастей для заданной скорости ветра

Исходными данными являются зависимость скорости ветра от времени, начальные параметры ВК, аэродинамическая характеристика,

кривая  $Z50(V50)$ . Определение значения угла установки лопастей производится на основании сравнения текущего значения быстроходности со значением, при котором для данной скорости ветра частота будет соответствовать 50 Гц. Таким образом, выполненная по приведенному алгоритму логика управления положением лопастей позволяет генерировать качественную ЭЭ в диапазоне скоростей ветра  $V \in (V_{50_{\min}}; V_{50_{\max}})$ , который определяется параметрами конкретной ВЭУ.

В случае безредукторной конструкции этот диапазон скоростей для ВЭУ недостижим [4]. Поэтому активное аэродинамическое регулирование, как правило, используется для генерации постоянной номинальной мощности при скоростях ветра от расчетной до максимальной рабочей. Принцип определения необходимого угла установки лопастей будет аналогичен, а повышение номинальной частоты вала до частоты сети производится за счет, например, применения мультипликатора.

*Механическое регулирование.* Предлагаемая методика определения передаточного отношения основана на расчете линий постоянной частоты в координатных осях быстроходность-скорость ветра (рис. 2). Искомое передаточное отношение для одноступенчатого мультипликатора может быть найдено по частоте, которую удастся обеспечить в наибольшем диапазоне скоростей ветра.

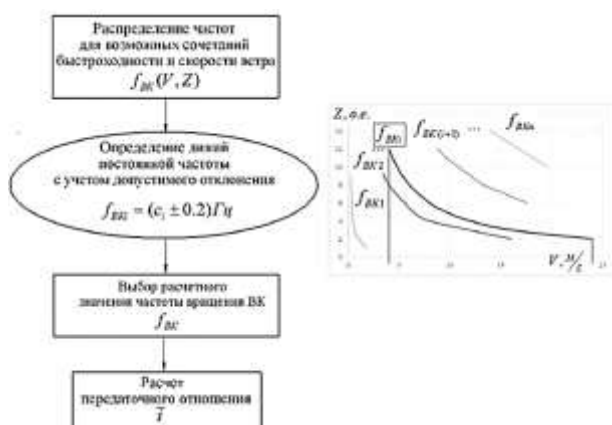


Рис. 2. Алгоритм определения передаточного отношения редуктора

Для достижения большего диапазона скоростей ветра, внутри которого выполняются требования к качеству ЭЭ ВЭУ, необходимо применение многоступенчатой коробки передач или варистора, тогда осреднение производится для ряда линий постоянной частоты.

*Выводы.* Разработанные алгоритмы были реализованы в виде кода в MatLab. Они позволяют получить закон управления углом установки лопастей и требуемое для обеспечения качества ЭЭ передаточное отношение мультипликатора по заданному характеру изменения скорости ветра. Результаты работы могут применяться в исследовательских целях при моделировании режимов работы ВЭУ с аэродинамическим или совместным аэро-механическим регулированием частоты и активной мощности.

#### Список использованных источников

1. ГОСТ Р 32144-2013. Совместимость технических средств электромагнитная.
2. ГОСТ Р 51990-2002. Ветроэнергетика. Установки ветроэнергетические. Классификация.
3. Фролова А. В., Васьков А. Г. Обеспечение качества электроэнергии, генерируемой сетевыми ВЭУ с различными системами регулирования // Инновации в сельском хозяйстве. 2017. № 2 (23). С. 148–153.
4. Фролова А. В., Шигин А. А., Васьков А. Г. Исследование регулирования электрических параметров ветроэнергетической установки с асинхронизированным синхронным генератором // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика: сборник тезисов докладов двадцать третьей междунар. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов. М. : МЭИ, 2017. Т. 3. С. 392.

УДК 621.039

### **МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОГИДРАВЛИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ЗМЕЕВИКОВОМ ТЕПЛООБМЕННИКЕ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛООБМЕНА**

### **THERMOHYDRAULIC PROCESSES SIMULATION IN A COIL HEAT EXCHANGER FOR ESTIMATION OF ITS EFFICIENCY**

Шумков Д. Е., Литвинов Д. Н., Климова В. А., Ташлыков О. Л.  
Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург,  
shumkov\_dmitriy@mail.ru

Shumkov D. E., Litvinov D. N., Klimova V. A., Tashlykov O. L.  
Ural Federal University, Ekaterinburg

**Аннотация:** В докладе рассматривается задача повышения эффективности теплообменного аппарата входящего в состав системы расхолаживания шахты-хранилища облученных ТВС исследовательского ядерного реактора ИВВ-2М, с использованием компьютерного моделирования для анализа поставленной задачи.